

Sobre la Detección de Movimiento Absoluto (I)

Por Robert te Winkel¹ y An Michel Rodríguez²

Desde la perspectiva clásica, es bien conocido que la introducción del 'factor de contracción de Lorentz' explica el resultado nulo obtenido por Michelson y Morley en su famoso experimento (y todas las repeticiones siguientes). Sin embargo, en este paper se muestra cómo el resultado nulo obtenido por Michelson y Morley es explicado por la naturaleza two-way de su experimento y se demuestra que en experimentos one-way deberían esperarse corrimiento de franjas. Se propone y discute dicho montaje.

Introduction

Before Young's experiments in the 19th century, when he made interfere two light wave fronts, many experiments had been already done with the purpose of determining various properties of matter and light itself.

Given that many experiments demonstrated the wave-like nature of light, and therefore the belief that light propagated through a physical medium, during the 19th and 20th century many different experiments were made to find this medium, so called "luminiferous ether".

The postulation of Maxwell Equations of Electromagnetism (1865) encouraged further the search of the *ether*, because it was needed to find the medium over which light propagated at 'c', predicted in the derived electromagnetic wave equation.

As it is today generally accepted, such ether has never been found. All experiments have been reported null or results obtained have been much less than expected (as for example the very famous Michelson and Morley Experiment in 1887). Among many, experiments claim to have reduced the existence of the ether with wonderful precision [1].

Before the Special Theory of Relativity (SR) was postulated by Einstein in 1905, the scientific community had theories that explained the null results obtained in the experiments in search for the ether. ~~The null results obtained by Arago, Mascart and Jamin, Airy, and others, were successfully explained by Fresnel~~

¹ ratwinkel@yahoo.es

² anmichel@gmail.com, Departamento de Física, Universidad Simón Bolívar, Apartado 89000, Caracas 1080 A, Venezuela

(1818), postulating the Drag effect that material bodies had over the ether, this was later on called Fresnel's Drag. Michelson & Morley's (M&M) results were explained by Lorentz, introducing his well known transformations, predicting a contraction of bodies in the direction of their motion. This is known as Lorentz Contraction.

In 1905, Einstein postulated the Special Theory of Relativity (SR), which had great success among the community of physicists, and that also explained the results of the M&M experiment, as well as all previous null experiments. Although analogous formulations of the Lorentz Contraction can be obtained as a result of Einstein's postulates, the interpretation of the results differs greatly.

En la perspectiva de Einstein, no hay movimiento relativo entre la luz y el observador. El observador siempre mide la velocidad de la luz como una constante universal, ' c '. En la perspectiva de Lorentz, el movimiento relativo entre la luz y el observador sí existe: la velocidad de la luz (onda electromagnética) es constante en su medio de transporte (el 'éter'), de la misma manera en que la velocidad del sonido (u onda material) es constante en el medio que lo transporta.

Debido a que aún no estamos en posición de demostrar el origen de la contracción de Lorentz como consecuencia de la existencia de un sistema de referencia 'equivalente al éter', se considerará dicha contracción como principio *ad-hoc* en las formulaciones siguientes. Dicha contracción usará la velocidad del laboratorio con respecto a un sistema de referencia considerado inercial (el 'éter') y en el cual la luz se propaga a velocidad constante ' c '; un observador en movimiento respecto al éter, alejándose de la fuente de luz con velocidad v , percibirá a la luz propagarse a velocidad $c-v$.

Teoría

Se mostrará a continuación cómo pueden obtenerse cambios en el patrón de interferencia girando un interferómetro como el descrito a continuación. Se utilizan conceptos de física clásica (no relativista) como la contracción de Lorentz de los cuerpos en dirección del movimiento. Las velocidades se considerarán relativas al medio que transporta la luz, "éter".

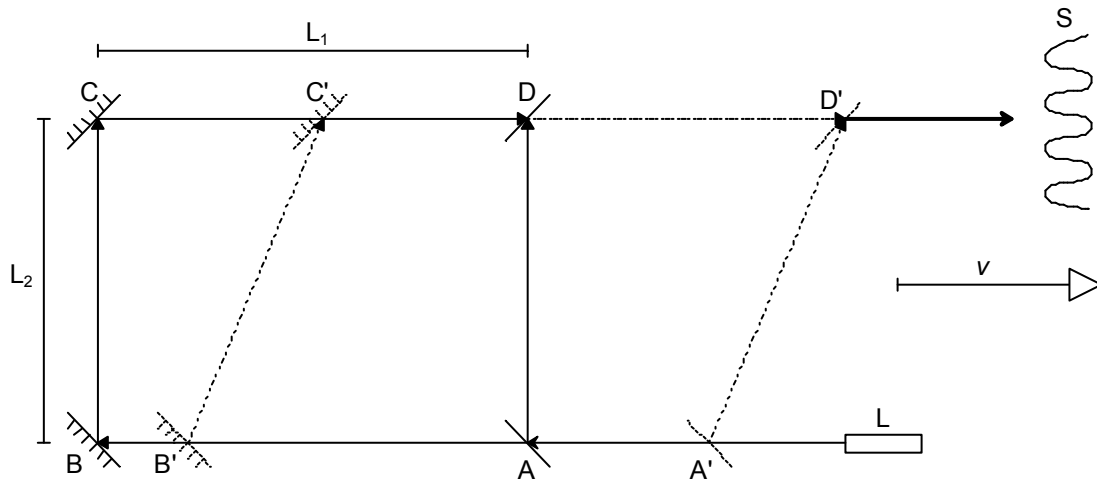


Figure 1 Interferometer by which calculations are made.

Consideremos un interferómetro como el que se muestra esquemáticamente en la Figure 1. Analizado en reposo, un haz de luz es emitido por el Laser L. Este incide sobre el divisor de haces ubicado en A. Un haz recorre el camino ABCD mientras que el otro recorre AD. En D ambos haces se encuentran y siguen hacia la pantalla S donde se puede observar el patrón de interferencia. Cuando el interferómetro se encuentra en movimiento con velocidad v con respecto al *éter*, en el tiempo en que la luz viaja de A a B, el espejo se ha movido de B a B'. Así, el primer haz recorre el camino AB'C'D'. Para que ambos frentes de luz lleguen a D' al mismo momento y hagan interferencia, el 2do haz recorre el camino A'D'.

Para calcular correctamente el tiempo que le toma a cada haz llegar a D' debemos usar el hecho de que los cuerpos se contraen en la dirección del movimiento. Dicha contracción la expresaremos con el factor

$$\alpha = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} < 1.$$

Tenemos entonces que para los recorridos AB'C'D' y A'D':

$$t_1^1 = \frac{2L_1}{\alpha c} + \frac{L_2}{\alpha c} \quad (1)$$

$$t_2^1 = \frac{L_2}{\alpha c} \quad (2)$$

$$\Delta t_1 = t_1 - t_2 \quad (3)$$

Para las ecuaciones (1) y (2), hemos utilizado el teorema de Pitágoras con la relación

$(vt_{B'C'})^2 + (L_2)^2 = (ct_{B'C'})^2$, donde $t_{B'C'}$ es el tiempo que le toma a la luz viajar de B' a C' ;

$$t_{B'C'} = t_{A'D'}$$

Girando el interferómetro 90° , haciendo referencia a la Figure 2, calculamos de igual manera:

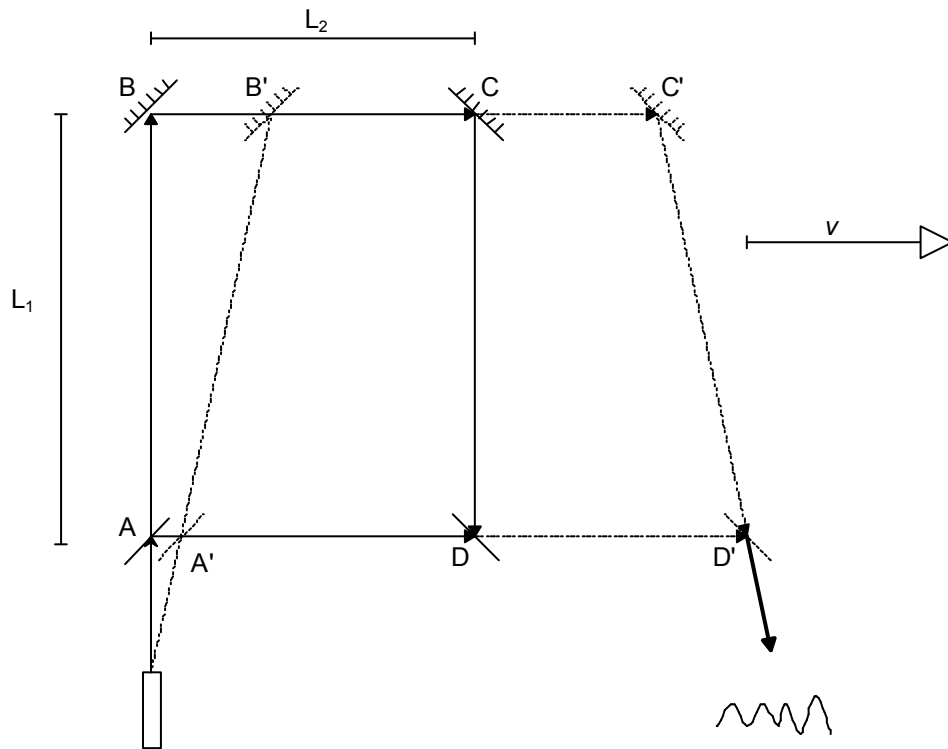


Figure 2 Same interferometer, after a 90° rotation.

$$t_1^2 = \frac{L_1}{c\alpha} + \frac{L_2}{c-v} + \frac{L_1}{c\alpha} \quad (4)$$

$$t_2^2 = \frac{\alpha L_2}{c-v} \quad (5)$$

$$\Delta t_2 = t_1^2 - t_2^2 \quad (6)$$

Es fácil calcular que

$$\Delta t = (\Delta t_2 - \Delta t_1) = 0 \quad (7)$$

El resultado de la ecuación (7) es el esperado y es consecuencia directa de tomar en cuenta el factor de Contracción de Lorentz, α .

Es crucial sin embargo notar que si bien $\Delta t = 0$, la razón entre tiempos cumple que

$$\frac{t_1^1}{t_2^1} \neq \frac{t_1^2}{t_2^2} \quad (8)$$

Aprovechamos de enfatizar que el resultado de la ecuación (8) solo se obtiene en un interferómetro como el propuesto en la Figure 1, *no siendo el caso* en interferómetros del tipo Michelson & Morley donde la luz recorre cada brazo en ambos sentidos. Si repetimos los cálculos para el interferómetro de M&M se obtiene que $\frac{t_1^1}{t_2^1} = \frac{t_1^2}{t_2^2}$, siendo la relación igual a 1 si los brazos del interferómetro tienen la misma longitud.

Dado que los radios de las esferas de luz vienen dadas por $r = ct$, tenemos de la ecuación (8) que

$$\frac{r_1^1}{r_2^1} \neq \frac{r_1^2}{r_2^2}. \text{ Tenemos entonces que al divisor de haces ubicado en } D', \text{ en cada orientación del}$$

interferómetro los haces llegan en el mismo momento, pero no han recorrido cada uno la misma distancia. La distancia recorrida por cada haz en la orientación de 90° es mayor que la recorrida en la orientación de 0° ; es decir, medida en D' , la ecuación (8) nos dice que razón de fases en la orientación de 90° es distinta a la razón de fases en la orientación de 0° .

Tomando en cuenta este importante resultado, no es difícil concluir que debemos esperar para cada orientación un patrón de interferencia distinto.

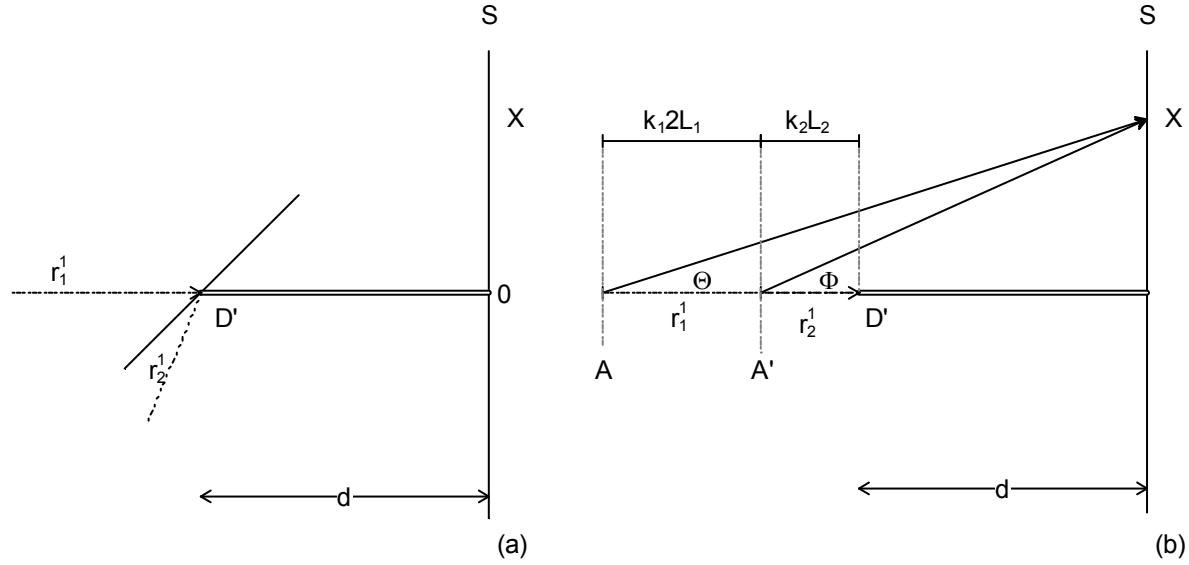


Figure 3 a) Figura esquemática mostrando el caso ideal cuando el interferómetro está perfectamente alineado. En D' se ubica el ultimo divisor de haz. b) Para facilitar el cálculo, hemos desdoblado la reflexión del haz en una línea recta. Las constantes k_i son los factores de contracción correspondientes a la orientación.

El caso ideal consiste en un interferómetro perfectamente alineado, como el que se muestra en la Figure 3: ambos haces llegan al mismo punto en D' , uno de los haces se refleja en el divisor de haz, el otro lo atraviesa y ambos continúan paralelos hasta llegar a la pantalla S . Para simplificar el cálculo, es útil olvidarnos de la reflexión en D' y pensar sólo en la esfera de luz que se expande desde el primer divisor (A y A').

Para cada orientación, podemos calcular entonces la fase resultante de la interferencia de las dos esferas de luz haciendo, en un punto X de la pantalla:

$$\Phi_i = \sqrt{(r_1^i + r_2^i + d)^2 + X^2} - \sqrt{(r_2^i + d)^2 + X^2} \quad (9)$$

Donde $i=1$ representa la orientación del interferómetro a 0° , e $i=2$ la orientación a 90° , λ es la longitud de onda del láser. La diferencia de fases dividida por la longitud de onda, $\frac{\Phi_2 - \Phi_1}{\lambda}$, nos da el cambio en número de franjas del patrón de interferencia que se puede observar al girar el interferómetro. Aunque el cálculo explícito es un poco engorroso, no es difícil ver que $\Delta\Phi \neq 0$.

El acercamiento y alejamiento de las franjas de interferencia con respecto a la franja central del patrón, a medida que vamos girando el interferómetro, es bastante obvio en la siguiente figura:

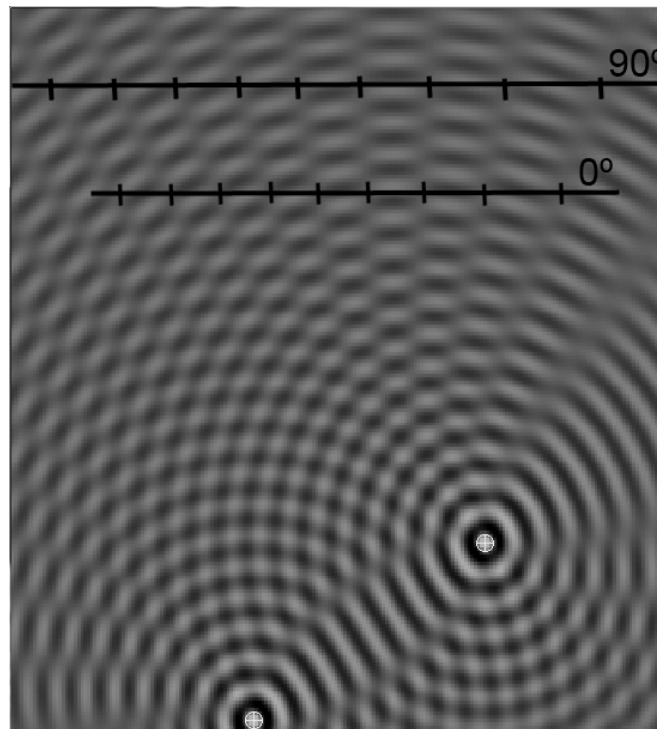


Figure 4 Ejemplo de cómo las franjas se acercan y se alejan del centro a medida que giramos el interferómetro.

Este resultado ha sido confirmado experimentalmente por los autores. Aunque escapa del objetivo del presente paper describir en detalle este experimento, conviene mostrar una de las gráficas obtenidas utilizando un interferómetro como el descrito anteriormente. En práctica, se diferencia principalmente por dos detalles importantes: (1) el interferómetro no está perfectamente alineado (no es ideal), de modo que los haces no llegan al mismo punto en el último beam splitter, ni se reflejan con el mismo ángulo; (2) en lugar de ser girado, el interferómetro es dejado en totalmente en reposo en el laboratorio a medida que la tierra rota y se traslada alrededor del sol. El experimento se ha mantenido durante más de un año, en distintas configuraciones, y los resultados han sido consistentes. La diferencia (1) influye radicalmente en los resultados, resultando en una amplificación del cambio en el patrón a medida que es girado.

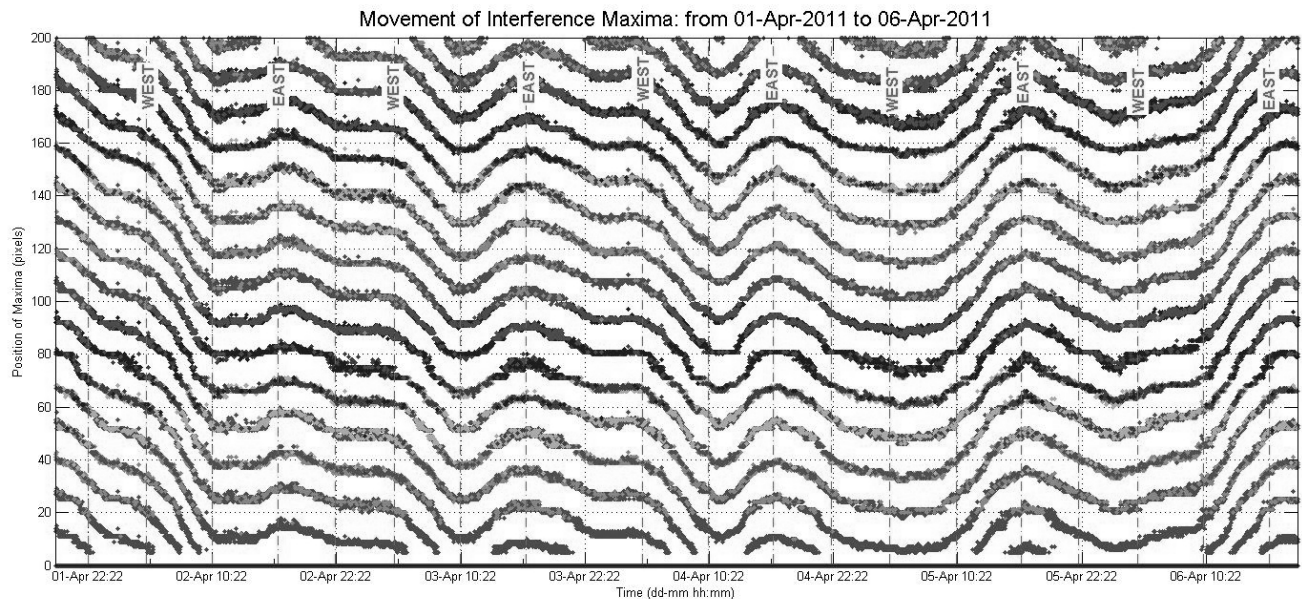


Figure 5 Verificación experimental de los resultados teóricos presentados. El eje vertical corresponde a la posición en pixeles del máximo de interferencia; el eje horizontal es el tiempo.

Las líneas que se observan en la Figure 5 corresponden a la posición en el tiempo de los máximos de interferencia de un patrón. Debido a que no se observa la franja central (debido a que no es está perfectamente alineado), las franjas parecen oscilar de manera uniforme. Las líneas verticales marcadas con East y West corresponden a cuando la posición correspondiente al punto hacia el centro del dipolo de la Radiación Cósmica de Fondo, según fue reportada por COBE (cita), cercana a la constelación HIP54255. Creemos que las derivas son ocasionadas por inestabilidades naturales por el láser (He-Ne, 632nm) por ser operado durante tiempo prolongado (meses). Fue monitoreada la temperatura (0,1°C de precisión) y el voltaje de alimentación del láser (0,1V de precisión), y no se encontró ninguna correlación con los movimientos, de hecho ambas medidas son bastante estables. Sin embargo, es bastante apreciable los movimientos correlacionados con la posición de la CMBR con respecto al cielo terrestre.

Conclusión

Se ha descrito y analizado un interferómetro de comportamiento diferente a un interferómetro de tipo Michelson&Morley. La diferencia principal es que en el interferómetro aquí descrito la luz recorre uno de los brazos (L2) sólo en un sentido. En un interferómetro de tipo Michelson&Morley la luz recorre

cada brazo en los dos sentidos. Esta diferencia permite al interferómetro ser sensible a la detección de anisotropías en la velocidad de propagación de la luz.

Es importante notar que la Contracción de Lorentz fue introducida por éste para, desde la perspectiva clásica, dar cuenta del resultado nulo obtenido por M&M. Sin embargo, tomando en cuenta este principio *ad-hoc* de Contracción, y desde la perspectiva clásica, se ha mostrado que un interferómetro como el propuesto sí es capaz de detectar cambios en el patrón de interferencias a medida que el interferómetro cambia su orientación. Debido a que las interacciones electromagnéticas son mediadas por el fotón, es de la opinión de los autores que la contracción de los cuerpos en el sentido del movimiento (o expansión en sentido perpendicular, que se sabe también explica el resultado nulo de M&M, en la perspectiva clásica) es consecuencia directa de que la velocidad de la luz es constante solo respecto al 'éter'.

Notemos que debido a que para un observador dentro del laboratorio, el interferómetro está en reposo respecto a sí, no debería esperarse ningún corrimiento de franjas según los postulados de la Relatividad aún tomando en cuenta una velocidad v , constante, de desplazamiento del laboratorio. Utilizando las nociones clásicas se demuestra aunque el interferómetro está quieto respecto al observador, si este se está desplazando a velocidad constante respecto al éter, deben apreciarse cambios en el patrón de interferencia.

Es interesante también notar que el camino recorrido por cada haz difiere en longitud. Sería interesante realizar el experimento emitiendo un fotón a la vez y observar el resultado en el patrón de interferencia, esto para analizar conceptos como los de interferencia de 2 fotones distintos emitidos con un tiempo t entre ellos.

References

1 Ch. Eisele, A. Yu. Nevsky, and S. Schiller. Laboratory Test of the Isotropy of Light Propagation at the 10^{-17} Level. Phys. Rev. Lett. 103, 090401 (2009).